Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (2012) 18(6):526-531
http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2012.18.6.526 ISSN:1976-5622 eISSN:2233-4335

퍼지 제어 알고리즘을 이용한 차량 조향 장치용 표면 부착형 영구자석 동기 전동기의 속도제어

Speed Control of a Permanent Magnet Synchronous Motor for Steering System Using Fuzzy Algorithm

반 동 훈, 박 종 오, 임 영 도*
(Dong-Hoon Ban[1], Jong-Oh Park[2], and Young Do Lim[2])
[1]S&TMotiv
[2]Dong-A University

Abstract: This paper, we describe the vector control of surface mounted PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) using the fuzzy controller which is suggested algorithm. In these days, when vehicle is operated or not, whether the road is covered or not, the sensitivity of the steering column is not stable. To make up for it, the PI gain of a steering column controller is adjusted by experience. It becomes the price because it need a lot of sensor. Also it is difficult to implement robust control because we need a lot of parameters for variable road conditions which are the off road, the on road, a low battery voltage, a high battery voltage, a vehicle speed. In this paper, we propose fuzzy controller using the suggested algorithm which suitable for steering system. We test the fuzzy controller with the various condition. We get the good performance of fuzzy controller even if it is nonlinear system. We check a robust the fuzzy controller using the suggested algorithm.

Keywords: PMSM, vector control, fuzzy controller, steering column

I. 서론

차량을 운전 할 때 조향 장치는 운전자의 의지를 표현하는 중요한 기능을 수행 한다. 기존의 조향 장치는 유압을 이용하여 동작 하므로 대형차량의 경우 여성운전자 또는 장애인이 운전하기에 어려움이 있었다. 또한 유압을 사용하기 위하여 항상 차량 엔진을 구동시켜야 하므로, 연료낭비와 소음이 발생 하였다. 이를 개선하기 위하여 기존의 유압장치 대신 표면 부착형 동기 전동기가 사용 되었다.

표면 부착형 동기 전동기는 시동을 걸지 않아도 전기만 공급되면 조향 장치를 움직일 수 있으며, 작은 힘으로 대형차량을 조정할 수 있다. 그러나 차량이 위치한 노면상태, 배터리 용량 및 차량의 속도에 따라 그 힘이 다르므로 운전자가 동일한 힘으로 조향 장치를 조작 했을 때 조향 각도가 달라져 위험 할 수 있다. 현재 차량의 조향 장치용으로 사용되는 표면 부착형 동기전동기의 제어는 PI 속도 제어기를 사용하고 있다[2,8,10,13].

그러나 조향 장치 동작 시 노면 상태, 배터리 용량 및 차량 속도의 차이에 따른 전동기의 속도 응답 특성을 만족하지 못하기 때문에, 조향 장치 구동 시 사용자의 어려움이 많다. 이러한 어려움을 해결하기 위하여 조향 장치용 속도제어기에 차량 속도를 추가하여 제어를 하지만, 좀 더 강인한 제어를 위해서는 많은 파라미터 정보가 필요하다는 단점이 있다[3,9,11,13].

본 논문에서는 조향 장치용 속도제어기를 제안된 제어규칙을 퍼지제어 기법을 이용하여 구현하였다. 퍼지 제어기는 기본적으로 비선형, 적응 제어기로서 정확한 수학적 모델을 필요로 하지 않으며 파라미터 변동에 강인한 장점을 가지므로, 조향 속도제어기로써 매우 적합하다. 제안된 제어규칙을 이용하여 설계된 퍼지제어기는 무 부하 및 규정부하 시 조향속도 조절 능력이 강인함을 실험을 통해 확인하였다.

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수: 2011. 11. 28., 수정: 2012. 4. 13., 채택확정: 2012. 5. 8.
반동훈: S&TMotiv(dhban@sntmotiv.com)
박종오, 임영도: 동아대학교 전자공학과
(jopark@dau.ac.kr/ydlim@dau.ac.kr)
※ 이 논문은 동아대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

Copyright© ICROS 2012

II. 표면 부착형 동기 전동기의 제어 알고리즘

1. 퍼지 제어기 구현

그림 1은 동기 전동기의 속도제어계 블록도이다.

전동기의 속도를 제어하는 경우 그림 1과 같이 전류 제어기를 내부에 배치하고 그 외부에 속도 제어기를 위치시켜 사용한다. 이러한 경우, 속도 제어기의 대역폭보다 전류 제어기의 대역폭을 충분히 크게 선정하면 전류 제어가 속도 제어에 미치는 영향이 거의 없으며, 속도제어의 응답성 및 안정성이 향상 된다[2,4,5].

3상 교류 전동기의 전류 제어를 위해 3상전류를 각각 직

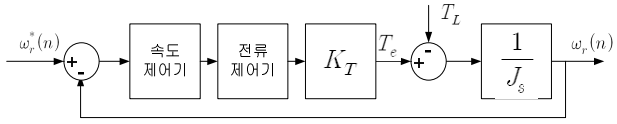


그림 1. 동기 전동기의 속도 제어계 블록도.
Fig. 1. The speed control block diagram of PMSM.

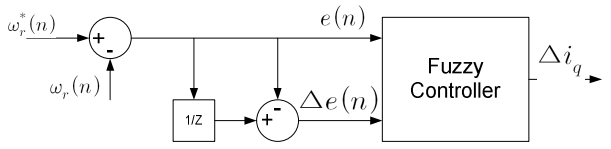


그림 2. 퍼지제어기 블록도.

Fig. 2. The bolck diagram of fuzzy controller.

접 제어 할 수 있으나, 벡터 제어 시에는 이러한 3상전류를 d-q축 좌표계로 변환하여 사용하는 것이 효과적이다.

2. 입출력 변수

퍼지 제어기 설계를 위하여 입출력 변수를 결정해야 한다. 본 논문에서는 입력 변수로 동기전동기의 속도 오차 $e(n)$와 속도 오차의 변화량 $\triangle e(n)$을 선정 하였으며, 출력변수로 동기전동기의 Q축 전류 $\triangle i_q$을 선정 하였다. 그림 2는 퍼지 제어기를 나타내는 블록도이다.

$$e(n) = \omega_r^*(n) - \omega_r(n) \quad (1)$$

$$\triangle e(n) = e(n) - e(n-1) \quad (2)$$

$$i_q = FuzzyController(e(n), \triangle e(n)) \quad (3)$$

3. 소속 함수

퍼지 제어기에서 입출력 변수는 언어 값으로 표현된다. 언어 값은 퍼지 부분 집합으로 정의 되며, 소속 함수로 표현 된다. 전동기 구동 시 속도 오차가 크게 발생 하는 경우, 작게 발생 하는 경우, 오차가 없는 경우 등 5가지 집합으로 나타나며, 오차의 변화량 역시 크게 발생 한 경우, 작게 발생한 경우, 오차의 변화량이 없는 경우 등 5가지로 나타난다. 오차를 3개의 부분 집합으로 한 경우 오차의 변화량이 적을 때 불안정한 특성이 나타났으며, 오차를 7개의 부분 집합으로 한 경우 퍼지 계산량 증가에 비하여 성능 향상은 이루어지지 않았다. 따라서 본 논문에서는 전문가의 경험을 바탕으로 다음과 같은 5개의 퍼지 부분 집합을 선택하였다.

NB : Negative Big　　PB : Positive Big
NS : Negative Samll　　PS : Positive Samll
ZE : Zero

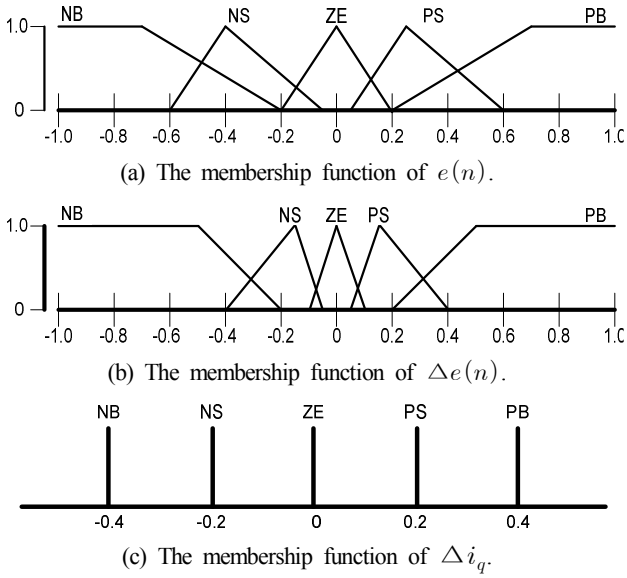
그림 3은 본 논문에서 사용된 퍼지 제어기의 입출력 소속 함수이다. $e(n)$ 및 $\triangle e(n)$의 소속 함수는 모터 속도를 나타내며 -1500RPM에서 1500RPM을 기준으로 -1에서 1로 정규화 시켰다. $\triangle i_q$는 Q축으로 인가 되는 전류를 나타내며, +10A에서 -10A를 기준으로 -1에서 1로 정규화 시켰다.

4. 조향 장치용 퍼지 제어 규칙

퍼지제어기의 제어 규칙은 전문가의 지식이나 경험에 의하여 얻어진다. 퍼지 제어 규칙은 충분한 실험을 통해 제어 대상의 특징을 파악하여 작성 되어야 한다. 제어 규칙들과 사실들은 지식 기반에서 'IF-THEN' 형식의 언어적인 규칙들로 구성 되어 있으며, 일반적인 형식은 다음과 같다.

규칙: IF x is A and y is B THEN z is C

여기서 x, y, z는 언어적 변수이고 A, B, C는 퍼지집합이다. 표 1은 다음과 같이 제안된 제어규칙으로 작성된 것이다.



(a) The membership function of $e(n)$.

(b) The membership function of $\triangle e(n)$.

(c) The membership function of $\triangle i_q$.

그림 3. 입출력 변수의 소속 함수.

Fig. 3. The membership function of input/output.

표 1. 퍼지룰 테이블.

Table 1. The fuzzy Rule table.

		$e(n)$				
		NB	**NS**	**ZE**	**PS**	**PB**
$ce(n)$	**NB**	NB	NB	NS	ZE	PS
	NS	NB	NS	NS	ZE	PS
	ZE	NB	NS	ZE	PS	PB
	PS	NS	ZE	PS	PS	PB
	PB	NS	ZE	PS	PB	PB

1) 전동기의 속도가 목표 속도 보다 크게 낮은 상태에서 속도가 빨리 또는 천천히 감소하거나, 같은 속도로 변할 때 Q축 전류를 큰 값으로 늘인다. 전동기 속도가 빨리 또는 천천히 증가하면 Q축 전류를 작은 값으로 늘인다.

2) 전동기의 속도가 목표 속도 보다 조금 낮은 상태에서 속도가 빨리 감소하면, Q축 전류를 크게 늘린다. 전동기 속도가 천천히 감소하거나, 같은 속도로 변할 때 Q축 전류를 작은 값으로 늘리고, 빨리 혹은 천천히 증가 할 때 Q축 전류는 현재 값을 유지한다.

3) 전동기의 속도가 목표 속도와 같은 상태에서 속도가 빨리 또는 천천히 감소하면 Q축 전류를 작게 증가 시키며, 속도가 빨리 증가 하거나 천천히 증가 하며 Q축 전류를 작게 감소시킨다.

4) 전동기의 속도가 목표 속도 보다 조금 높은 상태에서 속도가 빨리 또는 천천히 감소하면 Q축 전류를 유지 하며, 속도가 천천히 증가 하거나, 같은 속도로 증가 하면 Q축 전류를 작게 감소시킨다. 속도가 크게 증가 될 때 Q축 전류는 크게 감소시킨다.

5) 전동기의 속도가 목표 속도 보다 크게 높은 상태에서 속도가 크게 감소하거나, 작게 감소하면 Q축 전류를 작게 감소시키고, 속도가 계속 증가 하면 Q축 전류를 크게 감소시킨다.

5. 추론

규칙과 함의가 있고 관측된 사실 A^*, B^*가 있을 때 추론 방법에 따라서 아래와 같은 결론 C^*를 얻을 수 있다.

규칙 IF x is A and y is B THEN z is C
사실 x is A^*, y is B^*
추론결과 : z is C^*
추론과정 :
$C^* = A^* \circ B^* \circ R^k \quad k = 1, 2, 3, ..., r$

여기서 R은 퍼지 추론의 합성 규칙이다.

6. 비퍼지화

퍼지 추론한 결과를 제어기에 입력하기 위해서는 물리적인 양으로 변환해야 한다. 본 논문에서는 식 (4)와 같이 비퍼지화 방법으로 무게 중심 법을 사용하였다. 무게 중심법은 퍼지량을 가장 전형적인 물리적인 값으로 계산된다. 즉 중첩되어 있는 면적이 있을 경우에 중첩되는 부분을 고려하여 계산한다[1,6,9,14].

$$\triangle i_q(n) = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i i_q(n)}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \tag{4}$$

w_i: 가중치
$i_q(n)$: 제어 규칙의 결과 값

III. 시스템 구성

1. 전동기 제어기 구성

그림 4는 실험에 사용된 표면 부착형 동기전동기의 제어 시스템 블록도이다. 홀 센서 신호와 엔코더 센서 신호를 이용하여 D, Q축 제어를 위한 위상각을 만들고, 이를 이용하여 U, V, W 3상 신호를 벡터 제어 방식을 이용하여 PWM 파형을 생성 하므로 써 동기 전동기를 기동한다[5,7].

제어 시스템은 속도 제어기, 전류 제어기, 모터 구동 부로 구성된다. 엔코더로부터 얻어진 전동기의 현재 속도와 설정 속도간의 오차와 오차 변화량을 퍼지 제어기의 입력으로 사용하고, 그 결과 값을 Q축 제어 변수로 사용 하는 속도 제어기를 구현하였다.

전류 제어기는 속도 제어기의 출력 값과 실제 측정한 전류 값과의 오차를 입력으로 받아 영구 자석 동기 전동기에 인가 할 수 있는 전류를 설정한다. 전류 제어기는 PI Controller를 사용 하였으며, 전동기 설계 값을 바탕으로 P, I 이득을 선정하고 실험을 통하여 P, I 이득을 조정하였다.

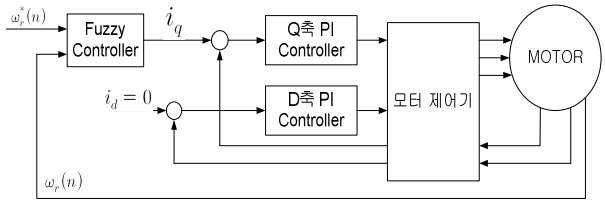


그림 4. PMSM 제어 블록도.
Fig. 4. The control block diagram of PMSM.

식 (5)는 전동기의 D축 및 Q축 변수로 표현된 전동기의 토크식이다.

$$T = \frac{P}{2}\frac{3}{2}[\Phi_f i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \tag{5}$$

$$T_e = \frac{P}{2}\frac{3}{2}[\Phi_f i_q] \tag{6}$$

여기서

T: 전동기 토크 P: 전동기의 극수
Φ_f: 영구 자석의 자속 i_d: D축 전류
i_q: Q축 전류 L_d: D축 릴럭턴스
L_q: Q축 릴럭턴스

식 (5)에서 표면 부착형 동기 전동기의 경우 D와 Q축 인덕턴스가 같으므로 식 (6)과 같이 D축에 무관한 토크 식으로 표현 된다. 이러한 표면 부착형 동기 전동기의 토크는 영구자석에 의한 토크만 존재 하며, 릴럭턴스 토크는 존재하지 않는다. 따라서 D축 전류는 0값으로 유지하고, Q축 전류를 이용하여 표면 부착형 동기 전동기의 토크를 제어할 수 있다. 모터 구동기는 벡터 제어를 이용하여 2상의 D, Q축 전류를 U, V, W 상 제어를 위한 정현파를 만든다. 그림 5는 전동기 제어장치 및 전동기의 사진이다.

2. 실험 장치 구성

그림 6은 차량 조향용 실험장치의 구성도를 나타낸 것이다.

그림 7의 실험 장치는 그림 6의 시스템 장치 구성도를 기준으로 구성 하였다.

그림 5. 모터 제어기 및 모터 사진.
Fig. 5. The picture of motor and motor controller.

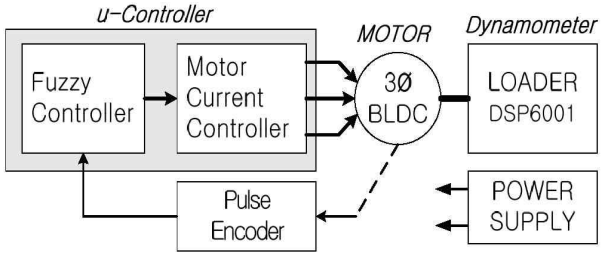


그림 6. 실험 장치 구성도.
Fig. 6. The block diagram of the test system.

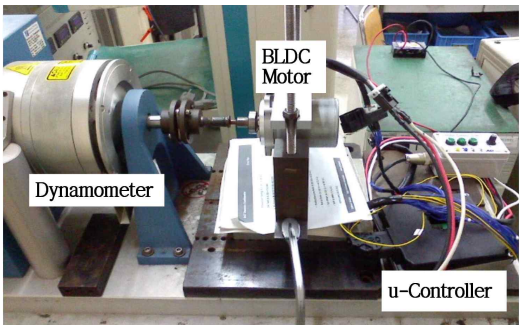


그림 7. 실험 장치 사진.

Fig. 7. The picture of test system.

표 2. 실험 장치 규격.

Table 2. The specification of test system.

Dynamometer DSP6001 (Magrtol)	Max Torque	10Nm
	Max Speed	100,000rpm
	Accuracy Speed	0.1%
POWER SUPPLY (전원공급장치)	Input AC	220V
	Output DC	0 ~ 50V
	Max Current	Max 100A
	Ripple Noise	Max 1.5%
MOTOR CONTROLLER (모터 제어기)	Input Voltage	10V ~ 40V
	Output Voltage	Max 100V
	Output Current	Max 150A

전원공급장치(power supply)를 이용하여 모터 구동 및 제어기 구동용 전원을 공급하고 제어기가 모터를 구동하면, 부하 인가 장비(DSP6001)를 이용하여 모터에 일정 토크 부하를 인가하였다.

위의 표 2는 차량 조향용 실험장치의 규격을 나타낸 것이다.

IV. 실험 결과

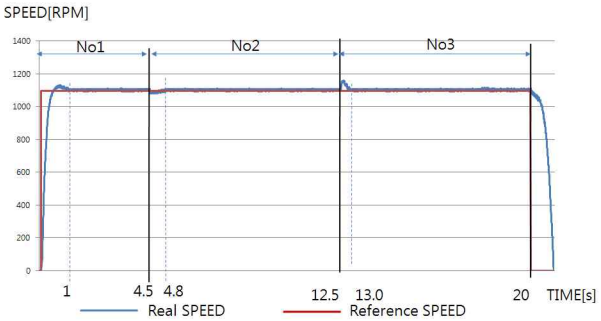
제안된 제어 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기의 성능을 검증하기 위해 실험을 수행 하였다. 마이크로 프로세서의 연산량을 줄이기 위해 MATLAB을 이용하여 퍼지 룰을 계산하고 이를 LOOK-UP TABLE을 이용하여 제어를 수행 하였다. 표 3은 표면 부착형 영구 자석 동기 모터의 규격이다. 실험에서 사용된 표면 부착형 영구자석 모터는 5N이하에서 동작 하지만, 3N까지 정상 동작 영역이다. 따라서 속도 응답 특성을 비교하기 위하여 1100 RPM을 설정 값으로 하였다. 그리고 무 부하 상태 및 1N, 2N, 3N의 부하를 인가했을 때 제어기의 성능을 측정 하였다.

그림 8은 무하 인가 및 제거 시 속도 응답 곡선이다. 여기서 No.1은 무 부하 상태이며, No.2는 설정된 부하를 인가하였을 경우이고, No.3은 인가된 부하를 제거하였을 경우를 나타낸 것이다. No.1의 오버슈트는 모터가 정지 상태에서 동작하기 때문에 발생하는 것이며, No.3의 오버슈트는 부하 인가 장비(dynamometer)가 부하를 갑자기 제거 하면서 순간적으로 발생하는 것이다. 제안된 제어 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기의 경우 무부하시, 부하 변동 시에도 목표 속도를 잘 추종함을 알 수 있다.

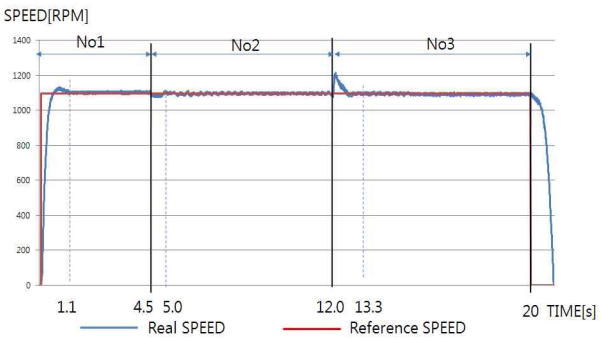
표 3. 표면부착형 영구자석 모터 규격.

Table 3. The PMSM specification.

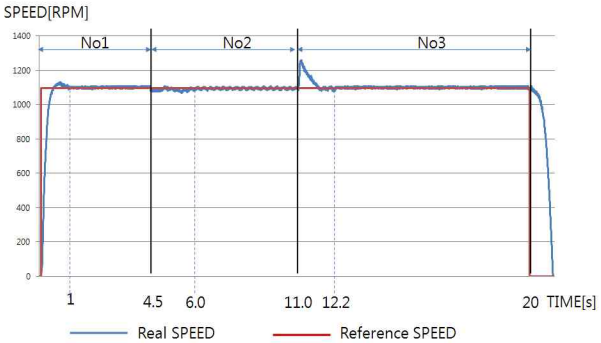
Rated Speed	1100 ± 100 rpm
Rated Torque	5Nm
Max Speed @50% Torque	≥ 1400 rpm
No Load Current	≤ 3 Arms
Cogging Torque	≤ 0.007 Nm
Average Loss Torque	≤0.02 Nm
Torque Ripple	≤ 0.15
Insulation	≥ 10MΩ
Torque Constant	58 mNm/A
Pole / Slot	6 / 9
Resister (line to line)	13.6mΩ



(a) The speed response curve when the load is 1 N.



(b) The speed response curve when the load is 2 N.



(c) The speed response curve when the load is 3 N.

그림 8. 속도 응답 곡선.

Fig. 8. The speed response curve.

조향 장치 시스템에서 도로 상태 및 차량 상태에 따라 모터에 인가되는 부하가 변동 하는 경우, 이를 추정하여 제어를 해야 하지만, 모든 상태를 감지 할 수 없으므로 강인

표 4. 1N 인가 시 제어기 실험 결과.
Table 4. The test result when the load is 1N.

1N	No1	No2	No3
오버슈트/언더슈트 크기(RPM)	1132	1078	1159
오버슈트/언더슈트 퍼센트(%)	3	2	6
정착시간(ms)	1245	700	595
상승시간(ms)	264	-	-
정상상태오차(%)	0.37	0.36	0.39

표 5. 2N 인가 시 제어기 실험 결과.
Table 5. The test result when the load is 2N.

2N	No1	No2	No3
오버슈트/언더슈트 크기(RPM)	1132	1074	1214
오버슈트/언더슈트 퍼센트(%)	3	2	11
정착시간(ms)	1250	1365	720
상승시간(ms)	261	-	-
정상상태오차(%)	0.36	0.43	0.45

표 6. 3N 인가 시 제어기 실험 결과.
Table 6. The test result when the load is 3N.

3N	No1	No2	No3
오버슈트/언더슈트 크기(RPM)	1132	1069	1260
오버슈트/언더슈트 퍼센트(%)	3	2	15
정착시간(ms)	1245	1600	800
상승시간(ms)	250	-	-
정상상태오차(%)	0.37	0.45	0.41

한 제어를 하는 것이 어렵다. 하지만, 제안된 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기의 경우 부하 변동에 대한 별도의 제어 규칙 및 파라미터를 추가 하지 않아도 우수한 특성을 얻을 수 있다. 표 4, 5, 6은 제안된 제어알고리즘이 적용된 퍼지 제어기의 실험 결과를 나타낸 것이다.

V. 결론

조향 장치용 표면 부착형 동기 모터의 부하변동에 강인한 속도 제어를 위해, 제안된 제어 알고리즘을 이용하여 퍼지 제어기를 구현 하였다. 차량이 위치한 노면 상태, 배터리 용량 및 차량의 속도에 따라 조향 장치를 구동하는 힘이 달라지며, 같은 힘으로 조향 장치를 구동하면 조향 각도가 달라지므로 운전자의 의지를 정확하게 수행하기 어렵다.

따라서 수많은 경우의 상태를 정확한 수학적 모델을 통해 해결 할 수 없으므로, 파라미터 변동에 강인한 장점을 가진 비선형, 적응 제어기인 퍼지 제어기를 이용하여 구현하였다. 제안된 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기의 경우 부하 변동에 대한 별도의 제어 규칙 및 파라미터를 추가 하지 않아도 무 부하 및 규정 부하 변동 시 조향 속도 조절 능력이 강인함을 실험을 통해 확인하였다.

참고문헌

[1] D. H. Ban, Y. T. Kim, S. S. Kim, and B. H. Wang, “Anti-pinch algorithm for sunroof system using fuzzy logic,” *International symposium on Advanced Intelligent System*, vol. 6, no. 5, pp. 130-137, 2005.

[2] J. W. Jung and T, Y, Kim, “Design of a fuzzy speed controller for a permanent magnet synchronous motor,” *The Transations of Korea Institute of Electrical Engineers*, vol. 59, no. 10, pp. 1797-1802, Oct. 2010.

[3] J. S. Yu, S. M. Hwang, C. Y. Won, and S. H. Kim, “Vector control of a permanent magnet synchronous motor for elevators using fuzzy controller,” *The Transactions of Korean Institute of Power Electronics*, vol. 10, no. 6, pp. 534-542, Dec. 2005.

[4] D. H. Son, D. W. Choi, M. S. Kim, B. K. Kim, and Y. H. Cho, “Vector control of PMSM using low resolution hall effect sensor,” *The 41 stKIEE Summer Conference 2010*, pp. 884-885, 2010.

[5] S. H. Kim, “DC and AC motor control,” *Bukdu Books,* Korea, 1993.

[6] J. H. Sul and Y. D. Lim, “A study on the position control of DC servo motor usign a fuzzy neural network,” *Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, vol. 7, no. 5, pp. 51-59, Dec. 1997.

[7] D. Y. Yoon and S. C. Hong, “Speed control of permanent magnet synchronous motor using space voltage vector PWM,” T*he Transactions of Korean Institute of Power Electronics*, vol. 43, no. 7, pp. 1112-1120, Jul. 1994.

[8] J. W. Jung, Y. S. Choi, and D. Y. Yu, “Design and stability analysis of a fuzzy observer-based fuzzy speed controller for a PM synchronous motor,” *The Transactions of Korean Institute of Power Electronics*, vol. 16, no. 1, pp. 1-10, Oct. 2011.

[9] Y. S. Choi, D. Y. Yu, and J. W. Jung, “Robust speed control of a permanent magnet synchronous motor using a fuzzy logic controller,” *The Transactions of Korean Institute of Power Electronics*, vol. 15, no. 5, pp. 343-351, Oct. 2010.

[10] I. C. Bail, K. H. Kim, and M. J. Youn, “Design and DSP-based implementation of robust nonlinear speed control of permanent magnet synchronous motor,” *The Transactions of Korean Institute of Power Electronics,* vol. 4, no. 1, pp. 1-12, Feb. 1999.

[11] J. W. Jung, Y. S. Choi, and D. Y. Yu, “Fuzzy logic speed control of a surface-mounted permanent magnet synchronous motor,” *Journal of Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineer*, vol. 24, no. 12, pp. 184-192, Dec. 2010.

[12] G. X. Zhou, D. H. Lee, and J. W. Ahm, "A fuzzy logical optimal efficiency control of permanent magnet synchronous motor," *The transactions of Korean Institute of Electrical Engineers*, pp. 97-99, May 2007.

[13] I. H. Kim, D. S. Choi, and Y. I. Son, "Design of a surface-mounted PMSM current controller using uncertainty estimation with a pi observer," *The Transactions of Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 60, no. 5, pp. 1011-1016, May 2011.

[14] J. W. Jung and T. H. Kim, "Speed control of permanent magnet synchronous motors using an adaptive controller," *The Transactions of Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 60, no. 5, pp. 977-983, May 2011.

[15] D. H. Son, M. S. Kim, D. W. Choi, and Y. H. Cho, "Vector control of monorail PMSM traction motor using the hall-effect sensor," *Proc. 2010 Spring Conf. KIEEME*, pp. 1366-1370, 2010.

[16] J. B. Son, H. R. Kim, Y. S. Seo, and J. M. Lee, "PMSM sensorless speed control using a high speed sliding mode observer," *Journal of Institute of Control Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 16, no. 3, pp. 256-263, Mar. 2010.

[17] J. O. Lee, S. I. Han, I. W. Han, S. I. Lee, and J. M. Lee, "Attitude and direction control of the unicycle robot using fuzzy-sliding mode control," *Journal of Institute of Control Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 18, no. 3, pp. 275-284, Mar. 2010.

반 동 훈

1999년 동아대 전자공학과 졸업. 2005년 부산대학교 산업대학원 석사. 2006년~현재 동아대학교 전자공학과 박사과정. 2001년~현재 S&TMotiv 기술연구소 선임연구원. 관심분야는 퍼지이론 및 응용, 모터제어, 엔진제어.

박 종 오

1998년 동아대학교 대학원 석사. 2003년 동 대학원 박사. 2008년~현재 동아대학교 전자공학과 조교수. 관심분야는 위성자세제어 및 구동기, 퍼지이론 및 응용, 전자회로설계.

임 영 도

1987년 동아대학교 대학원 박사. 1988년~현재 동아대학교 전자공학과 교수 관심분야는 지능제어시스템, 전력전자, 고주파 유도 가열.